การวิเคราะห์ระบบระบายน้ำในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

Analysis of Drainage System in Kasetsart University Kampangsaen Campus

นายศิวกร อุ่นจิตต์[1] นายจิรวัฒน์ พรหมจันทร์[1] วราวุธ วุฒิวณิชย์[2]และจิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี[3]

Sivakorn Aunjit[1] Jirawat Promjan[1] Varawut Vutthiwanit[2] and Chirakarn Sirivitmitrie[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพระบบระบายน้ำของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน โดยขั้นตอนแรกทำการสำรวจคูระบายน้ำและจุดออกเพื่อเก็บข้อมูลหน้าตัดการไหลและประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ สำรวจภูมิประเทศเพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า วิเคราะห์แผนที่เส้นชั้นความสูงของวิทยาเขตด้วยArcGISเพื่อสร้าง Digital elevation model (DEM) ขนาด 5m×5m ซึ่งสามารถบอกค่าระดับของแต่ละGrid ใช้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นหน่วยระบายน้ำ ย่อย วาดทิศทาง การไหลของน้ำท่าในแต่ละหน่วยระบายน้ำ และใช้หาค่าระยะทางการไหล ของน้ำบนผิวดิน เพื่อใช้ในการคำควณค่า Time of concentration และ Longitudinal slope ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำให้สามารถหาค่าปริมาณการไหลสูงสุดของคูระบายน้ำ แต่ละสายด้วยสูตรแมนนิ่งและค่าความเข้มฝนสูงสุดที่พื้นที่จะสามารถรับได้ จากสูตรRational ขั้นตอนที่สองวิเคราะห์ความถี่และรอบปีการเกิดซ้ำจากข้อมูลฝนรายวันย้อนหลัง 17 ปี (2539-2555) จัดทำกราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของฝน และวิเคราะห์ข้อมูลฝนราย 15 , 30, 45, 60, 120, 180, 360, 720 และ 1440 นาที จัดทำกราฟ Time distribution of rainfall เพื่อใช้ความเข้มฝนที่ช่วงเวลาน้อยกว่า 1 วัน ผลการศึกษาโดยการเปรียบเทียบความเข้มฝนสูงสุดที่หน่วยระบายน้ำย่อยแต่ละหน่วยจะสามารถรับได้จากสูตร Rationalกับค่าความเข้มฝนที่หาจากกราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ พบว่าระบบระบายน้ำของหน่วยระบายน้ำย่อยสามารถรองรับปริมาณฝนได้ที่รอบปีการเกิดซ้ำสูง จุดออกทุ่งขี้อ้ายสามารถระบายน้ำได้สูงสุดที่ความเข้มฝนฝนไม่เกิน 5.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ภายในเวลาการตกของฝน 6.8 ชั่วโมง หรือเทียบเท่ากับปริมาณฝน 34.4 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามขอแนะนำว่าก่อนที่จะเข้าฤดูฝนวิทยาเขตควรตรวจสอบและทำความสะอาดเพื่อรักษาความสามารถในการปฏิบัติของระบบระบายน้ำของมหาวิทยาลัย

---

[1] นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน
Under Graduate Student, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen Campus

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน
Assoc. Prof., Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen Campus

[3] อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน
Lecturer, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen Campus

Abstract

The purpose of the research is to evaluate the potential of drainage systems in Kasetsart University, Kampangsaen campus. The first step, the drainage ditches and the outlet were investigated to obtain the cross sectional area of flow and the roughness coefficient. The general topography was surveyed to evaluate the runoff coefficient. The contour map was analyzed by ArcGIS in order to obtain the 5mx5m-digital elevation model (DEM) of the campus. From DEM, the campus area was divided into smaller drainage units. The flow directions from each drainage unit to the campus drainage system and the outlet were drawn. Based on the defined drainage units, the surface flow distance was estimated. Finally the time of concentration of each drainage unit and the longitudinal slope of ditches were determined. The maximum flow capacity of each drainage ditch was estimated by Manning's formula. The maximum rainfall intensity that each drainage unit can carry was estimated by Rational formula. The second step, the intensity-duration-return period of maximum 1, 2 and 3 days rainfall of the campus was analyzed based on 17 years of daily rainfall data (B.E. 2539-2555). The time distribution of rainfall for duration shorter than 1 day was developed from 15, 30, 45, 60, 120, 180, 360, 720 and 1440 minutes duration of the continuous rainfall records. By comparing the maximum rainfall intensity for each drainage units determined by Rational formula and the rainfall intensity from the intensity-duration-return period curve, it can be concluded that in general the internal drainage ditch has enough capacity to accumulate high return period rainfall. The campus outlet at Thung-Khee-Ai has a limited drainage capacity, only 5.1 mm/hr of rainfall intensity for the duration of 6.8 hours which is equivalent to the rainfall depth of 34.4 mm in one single event can be accumulated by the existing campus drainage system. However it is recommended that before entering the rainy season, the debris at campus outlet should be checked and cleaned in order to maintain the discharging capacity of the campus drainage system.

e-mail : yee.svk.auj@gmail.com

คำนำ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ได้มีการเปลี่ยนแปลงของระบบระบายน้ำจากที่เคยออกแบบวางระบบไว้เมื่อครั้งที่พัฒนาวิทยาเขตตั้งแต่ พ.ศ. 2521 โดยมีการใช้งานระบบระบายเป็นระยะเวลา 35 ปี จนถึงปัจจุบันมีการเสื่อมสภาพของระบบระบายน้ำ คูระบายน้ำตื้นเขิน ทางระบายน้ำเดิมถูกถม อาคารบังคับน้ำขาดการบำรุงรักษา มีปัญหาน้ำท่วมขังเมื่อมีฝนตกหนักและปัญหาข้อจำกัดในการระบายน้ำออกจากวิทยาเขต เนื่องจากคูระบายน้ำที่รับน้ำต่อจากวิทยาเขตลงสู่คลองเจริญสุขถูกบุกรุกและตื้นเขิน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้อัตราการไหลและทิศทางการไหลของน้ำท่า น้ำในคูระบายน้ำเปลี่ยนไป และยังไม่มีการปรับปรุงข้อมูลระบบระบายน้ำของวิทยาเขต

จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องศึกษาและวิเคราะห์ระบบระบายน้ำของวิทยาเขต ว่าระบบระบายน้ำและจุดออกสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนได้มากน้อยเพียงใด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำของวิทยาเขตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. โปรแกรม ArcGIS 9.3
2. ไม้สต๊าฟขนาด 3 เมตร
3. เทปวัดความยาว 10 เมตร
4. กล้องถ่ายรูป
5. ข้อมูลแผนที่เส้นชั้นความสูงของวิทยาเขต

วิธีการ

1. สำรวจคูระบายน้ำ ภายในวิทยาเขตเพื่อเก็บข้อมูล ความกว้างกันคูระบายน้ำ ความลึกสูงสุดลาดด้านข้าง ดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2 สำรวจสภาพทางกายภาพของคลองเพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ(n) โดยเปรียบเทียบกับภาพและข้อมูลจากหนังสือ Open Channel Hydraulic (Chow, 1973) ดังแสดงใน Figure 3 และ Figure 4 สำหรับคำนวณปริมาณการไหลสูงสุดของคูระบายน้ำแต่ละสาย ผลการคำนวณแสดงดัง Table 1

Figure 1 Drainage Ditch D3-SD

Figure 2 Drainage Ditch D4-MD

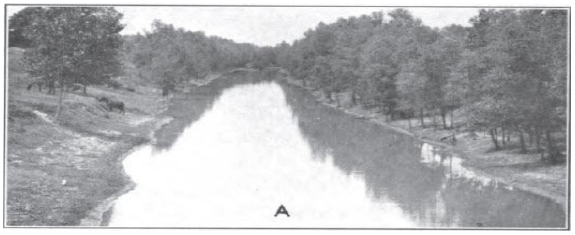

Figure 3 n = 0.040 Ditch in Clay and sandy loam; irregular side slopes, bottom, and cross section; grass on slopes

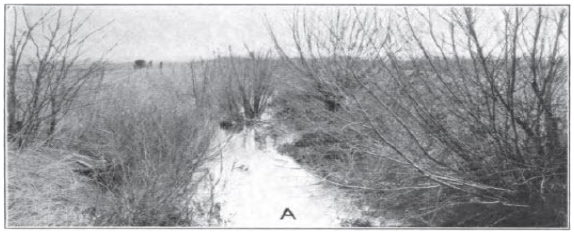

Figure 4 n = 0.080 Dredge channel in black slippery clay and gray silty clay loam, irregular wide slopes and bottom, covered with dense growth of bushy willow, some in bottom; remainder of both slopes covered with weeds

Figure 5 Outlet to Thung-Khee-Ai

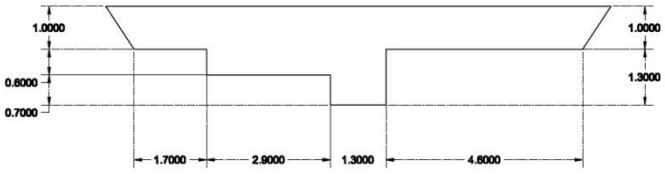

Figure 6 Outlet cross section at Thung-Khee-Ai

2. สำรวจจุดออก เพื่อคำนวณหาหน้าตัดการไหล ดังแสดงใน Figure 3 และ Figure 4 คำนวณหาปริมาณการไหลสูงสุดของจุดออก ด้วยสมการการไหลผ่านฝายสันมน สร้าง Rating curve ดังแสดงใน Figure 8

3. สำรวจพื้นที่เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า(C) จากลักษณะดิน การใช้ที่ดิน และภูมิประเทศ เปรียบเทียบกับตารางจากหนังสืออุทกวิทยาทางวิศวกรรม (วราวุธและคณะ, 2550) สำหรับคำนวณหาความเข้มฝนสูงสุดที่หน่วยระบายน้ำจะสามารถรับได้ต่อไป

4. วิเคราะห์แผนที่เส้นชั้นความสูงด้วย ArcGIS 9.3 โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 ปรับแนวคูระบายน้ำเพื่อให้ตรงกับสภาพความเป็นจริง เนื่องจากข้อมูลแผนที่เส้นชั้นความสูงของวิทยาเขต แนวคูระบายน้ำไม่ได้อยู่ตรงตามพิกัดจริง และมีคูระบายน้ำบางแนวที่ไม่ปรากฏบนแผนที่เส้นชั้นความสูง

4.2 วิเคราะห์ DEM จากแผนที่เส้นชั้นความสูง โดยใช้เครื่องมือ Topo to Raster ในการสร้าง โดยต้องสร้าง 2 features ดังนี้

4.2.1 DEM1 ใช้ในการหาระดับจุดต่าง ๆบนพื้นที่ สร้างโดยใส่ features *Contour* (แผนที่เส้นชั้นความสูงของวิทยาเขตที่ไม่มีแนวคู) เลือก Type เป็น *Contour* โดยในแต่ละ Grid ของ DEM จะมีค่าระดับอยู่ นำมาตรวจสอบความถูกต้องกับจุดที่รู้ระดับจริงจำนวน 2 จุด

4.2.2 DEM2 ใช้ในการวิเคราะห์ Basin และ Stream ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งต้องมีคูระบายน้ำอยู่ใน DEM ด้วย สร้างโดยใส่ features *Contour* เป็นลำดับแรก เลือก Type เป็น *Contour* ใส่ features *AddContour*(เป็นเส้นคูระบายน้ำที่วาดขึ้นใหม่

กำหนดค่าระดับเป็น 0 m) อีกสองลำดับ เลือก Type เป็น *Contour* เช่นกัน

4.3 แบ่งเขตการวิเคราะห์ Basin และ Stream โดยใช้คูระบายน้ำและถนนเป็นแนวการแบ่งขอบเขตพื้นที่ แบ่งได้ทั้งหมด 10 บล็อก เพื่อให้สามารถหาพื้นที่รับน้ำของหน่วยระบายน้ำได้ ดังแสดงใน Figure 9

4.4 วิเคราะห์ Basin และ Stream จาก DEM2 ของทั้ง 10 บล็อก โดยกำหนดให้ Stream แสดงเส้นชั้นลำน้ำลำดับที่ 4 เป็นต้นไป ดังแสดงใน Figure 10

4.5 แบ่ง Basin บางหน่วยด้วยมือ เนื่องจากเมื่อวิเคราะห์ Basin และ Stream ในแต่ละบล็อกในบางหน่วยระบายน้ำมีจุดออกมากกว่า 1 จุด จึงต้องแบ่งเองด้วยมือ โดยใช้ Stream เป็นตัวช่วยในการหาสันปันน้ำในการแบ่งขอบเขตของหน่วยระบายน้ำ ตัวอย่างเช่นในบล็อก 8 ดังแสดงใน Figure 11

4.6 คำนวณหาเวลาการเกิดน้ำท่าสูงสุด (Time of concentration, t_c) ของ แต่ละหน่วยระบายน้ำ และ จากหน่วยระบายน้ำไปถึงจุดออก โดยสมการของ Kirpich (1940) โดยใช้ค่าระดับจาก DEM1 ที่จุดต่างๆ และใช้ค่าระยะทางจากเครื่องมือ Measure

4.7 คำนวณหาลาดตามยาว (Longitudinal Slope, LS) ของคูระบายน้ำแต่ละสาย โดยใช้ค่าระดับจาก DEM1 ที่จุดข้างเคียงคูระบายน้ำ และใช้ค่าระยะทางจากเครื่องมือ Measure โดยให้เป็นค่า LS เฉลี่ยของคูระบายน้ำ [$LS = (H_2-H_1)/L$]

4.8 คำนวณหาพื้นที่รับน้ำของหน่วยระบายน้ำ (A) จาก Basin ในแต่ละ Basin จะมีการนับจำนวน Grid (Count) เมื่อคูณกับพื้นที่ Grid จะได้พื้นที่รับน้ำของหน่วยระบายน้ำ

4.9 วิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำท่าด้วย Stream ว่าไหลลงสู่คูระบายน้ำใด

5. วิเคราะห์ข้อมูลฝน โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.1 วิเคราะห์ความถี่ฝนสูงสุดราย 1, 2 และ 3 วัน จากข้อมูลสถิติฝนรายวันย้อนหลัง 17 ปี (1 มกราคม พ.ศ. 2539 ถึง 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555) เพื่อสร้างกราฟความลึกฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ เลือกกระดาษแบบ Log normal กราฟที่ได้ไม่เรียงกันเป็นเส้นตรงแสดงว่ากระดาษกราฟไม่เหมาะสมดังแสดงใน Figure 12

5.2 จาก 4.1 สร้างกราฟความลึกฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ เลือกกระดาษกราฟแบบ Gumbel กราฟที่ได้มีแนวโน้มการเรียงตัวที่ดีขึ้นสามารถยอมรับได้ดังแสดงใน Figure 13

5.3 วิเคราะห์ความถี่ฝนสูงสุดราย 1, 2 และ 3 วัน จากข้อมูลสถิติฝนรายวันย้อนหลัง 17 ปี เพื่อสร้างกราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของฝน ด้วยฟังค์ชั่น Gumbel (วราวุธและคณะ, 2550) ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 10, 25, 50 และ 100 ปี ที่ช่วงเวลา 1, 2 และ 3 วัน ที่ความเข้มฝนในหน่วย มิลลิเมตรต่อชั่วโมงดังแสดงใน Figure 14

5.4 วิเคราะห์ข้อมูลฝนราย 15 , 30, 45, 60, 120, 180, 360, 720 และ 1440 นาที ของวันที่มีฝนตกปริมาณต่างๆกัน จำนวน 35 วัน สร้างกราฟ Time distribution of rainfall โดยแปลงข้อมูลเป็นร้อยละ เวลา 720 นาที คิดเป็นร้อยละ 100 และปริมาณฝนที่ตกใน 1440 นาทีของวันนั้น คิดเป็นร้อยละ 100 นำข้อมูลมาหาค่า Minimum, Maximum, และ Mean แล้วพล็อตเป็นกราฟดังแสดงใน Figure 15

6. วิเคราะห์ขีดความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำในวิทยาเขตจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

6.1 คำนวณหาค่าปริมาณการไหลสูงสุด (Q_{max}) ของคูระบายน้ำและจุดออกด้วยสมการ Manning ดังแสดงในตารางที่ 1

6.2 คำนวณหาค่าความเข้มฝนสูงสุด (i_{max}) ที่หน่วยระบายน้ำจะสามารถรับได้จากสมการ Rational ซึ่งก็คือ Capacity ของหน่วยระบายน้ำที่จะสามารถรับความเข้มฝนได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

6.3 คำนวณหาค่าความเข้มฝน (i_i) ที่เวลา t_c ใดๆ โดยนำค่า t_c แปลงเป็น %Time ไปหา %Rainfall จากกราฟ Time distribution of rainfall นำไปเป็นตัวคูณค่าความเข้มฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 10, 25, 50 และ 100 ปี จากกราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของฝน

6.4 เปรียบเทียบ i_{max} และ i_i เพื่อวิเคราะห์คูระบายน้ำที่มีปัญหาในการระบายน้ำ

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำในคูระบายน้ำ ด้วย ArcGIS สามารถเขียนโครงข่ายระบบระบายน้ำของวิทยาเขตได้ดังแสดงใน Figure 7

ระบบระบายน้ำของวิทยาเขตประกอบด้วยคูระบายรอบวิทยาเขตทั้งสี่ด้าน ซึ่งตั้งอยู่ทางด้านทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก ใน Figure 7 จะเรียกว่า North Drain, South Drain, East Drain และ West Drain ตามลำดับ เมื่อฝนตกน้ำจากภายในวิทยาเขตสามารถระบายออกสู่คูระบายน้ำรอบวิทยาเขตได้ดังแสดงในภาพ ซึ่งสภาพในปัจจุบันน้ำที่ระบายออกสู่คูระบายน้ำรอบวิทยาเขตจะไหลไปรวมกับน้ำที่ระบายผ่านคูระบายหลัก (Main Drain) ที่จุดออกทุ่งขี้อ้าย เพื่อระบายออกจากวิทยาเขตลงสู่คูระบายทุ่งขี้อ้าย และระบายต่อไปยังคลองเจริญสุข คลองท่าสารบางปลา ตามลำดับต่อไป

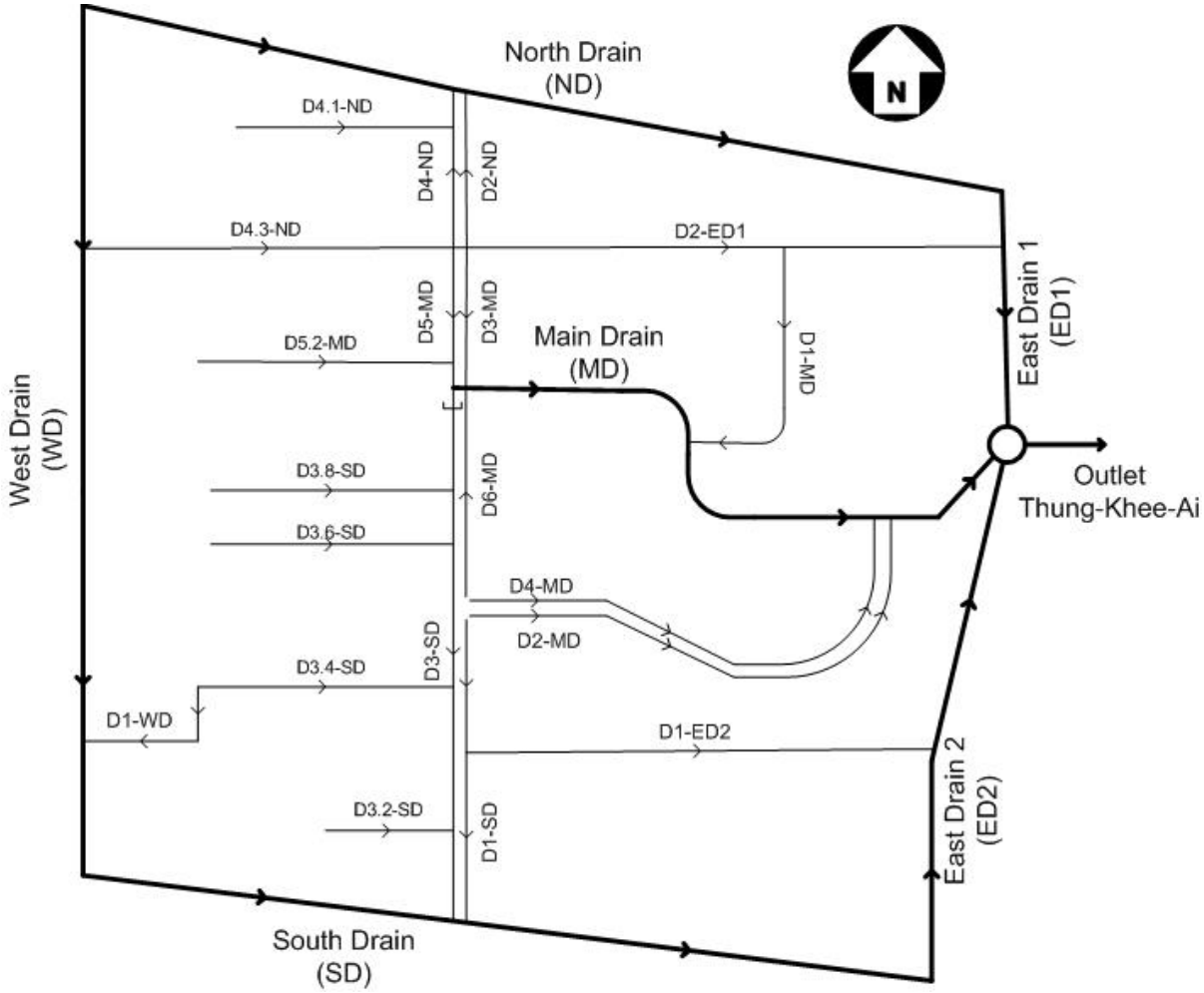

Figure 7 The network shows a ditch name and flow direction.

การตั้งชื่อคูระบายน้ำ

เลขคู่ ในชื่อคูระบายน้ำ หมายถึง คูระบายน้ำย่อยซึ่งอยู่ด้านขวาของคูระบายน้ำหลัก

เลขคี่ ในชื่อคูระบายน้ำ หมายถึง คูระบายน้ำย่อยซึ่งอยู่ด้านซ้ายของคูระบายน้ำหลัก

ตัวอย่างการตั้งชื่อคูระบายน้ำ

D3.8-SD หมายถึง คูระบายน้ำย่อยสายที่ 8 ซึ่งระบายลงสู่คูระบายน้ำ 3D-SD

3D-SD หมายถึง คูระบายน้ำย่อยสายที่ 3 ซึ่งระบายน้ำลงสู่คูระบายน้ำรอบวิทยาเขตด้านทิศใต้

คุณสมบัติของคูระบายน้ำย่อยและคูระบายน้ำหลัก ดังแสดงใน Table 1

Table 1 The table shows dimension of cross section, flow parameters and calculated flow rate for ditch by Manning's equation

Ditch	b (m)	d (m)	z	A (m^2)	P (m)	R (m)	n	LS	Q (cms)
ND	13.4	2.6	1.293	43.581	21.9	1.990	0.060	1: 1049	35.484
D2-ND	4	1	1.118	5.118	7	0.731	0.040	1: 480	4.738
D4-ND	3.8	1.2	-	4.560	6.2	0.735	0.045	1: 3614	1.373
D4.1-ND	5.4	0.8	2.154	5.699	9.2	0.619	0.045	1: 624	3.685
D4.3-ND	3	0.6	1.333	2.280	5	0.456	0.045	1: 1162	0.880
WD	13.4	2.6	1.293	43.581	21.9	1.990	0.060	1: 2012	25.618
D1-WD	9.8	1.6	1.586	19.740	15.8	1.249	0.045	1: 2035	11.281
SD	13.4	2.6	1.293	43.581	21.9	1.990	0.060	1: 2012	25.618
D1-SD	5.6	1.3	1.460	9.747	10.2	0.956	0.040	1: 1884	5.446
D3-SD	9.6	1.2	1.061	13.049	13.1	0.996	0.045	1: 1808	6.802
D3.2-SD	11	1.8	0.964	22.923	16	1.433	0.040	1: 3121	13.038
D3.4-SD	9.8	1.6	1.586	19.740	15.8	1.249	0.045	1: 2035	11.281
D3.6-SD	12.6	1.4	1.212	20.016	17	1.177	0.040	1: 1819	13.081
D3.8-SD	4.2	1.3	1.269	7.604	8.4	0.905	0.040	1: 1365	4.815
MD	14.7	1.5	0.777	23.799	18.5	1.286	0.045	1: 596	25.629
D1-MD	5.2	1.5	0.777	9.549	9	1.061	0.040	1: 3230	4.370
D3-MD	2.6	1.6	1.512	8.030	8.4	0.956	0.045	1: 661	6.734
D5-MD	2.7	0.8	1.201	5.699	5.2	1.096	0.045	1: 949	4.370
D5.2-MD	3.6	0.95	1.732	4.983	7.4	0.673	0.045	1: 660	3.311
D2-MD	5.1	1.4	3.205	13.421	14.5	0.926	0.045	1: 863	9.643
D4-MD	8	1.1	-	8.800	8	1.100	0.045	1: 1011	6.554
D6-MD	8.2	0.9	1.192	8.345	11	0.759	0.045	1: 1518	3.959
ED1	13.4	2.6	1.293	43.581	21.9	1.990	0.060	1: 1049	35.484
ED2	13.4	2.6	1.293	43.581	21.9	1.990	0.060	1: 1049	35.484
D1-ED2	5.5	1.4	-	7.700	8.3	0.928	0.040	1: 698	6.929
D2-ED1	3	0.6	1.333	2.280	5	0.456	0.070	1: 913	0.639

Note : B = Bed Width (m), d = Depth (m), z = Side Slope 1:z,
A = Cross sectional Area (m^2), P = Wetted Perimeter (m), R = Hydraulic Radius (m),
n = Manning's n, LS = Longitudinal Slope, Q = Discharge (cms)

จุดออกที่ทุ่งขี้อ้ายซึ่งมีลักษณะเป็นฝายน้ำล้นดัง Figure 6 ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลล้นที่เฮดต่างๆ ได้ Rating Curve ดังแสดงใน Figure 8 ซึ่งผลจากการสังเกตพบว่าถ้าเฮดสูงเกินกว่า 1.1 เมตร จะเกิดน้ำท่วมตามแนวคูระบายน้ำหลักเหนือจุดทางออก ซึ่งพบว่าฝายน้ำล้นทุ่งขี้อ้ายสามารถระบายน้ำได้สูงสุดประมาณ 8.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยไม่เกิดน้ำท่วม

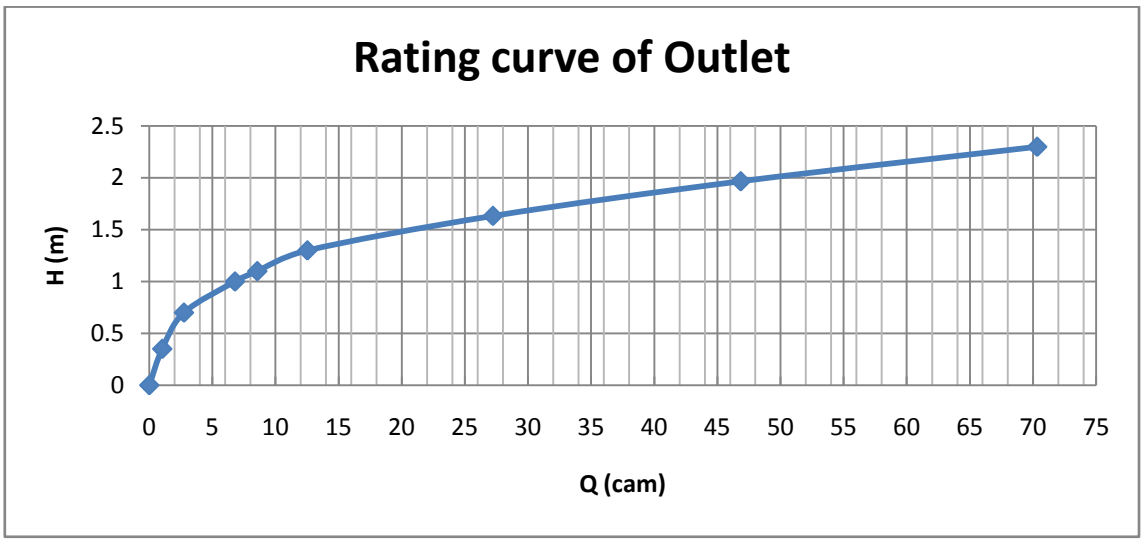

Figure 8 Rating curve of Outlet

ผลการแบ่งพื้นที่ด้วยแนวคูและแนวถนนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หน่วยระบายน้ำย่อยและโครงข่ายการระบายน้ำด้วย ArcGIS สามารถแบ่งพื้นที่ออกเป็น 10 บล็อก คือ B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9 และ B10 ดังแสดงใน Figure 9

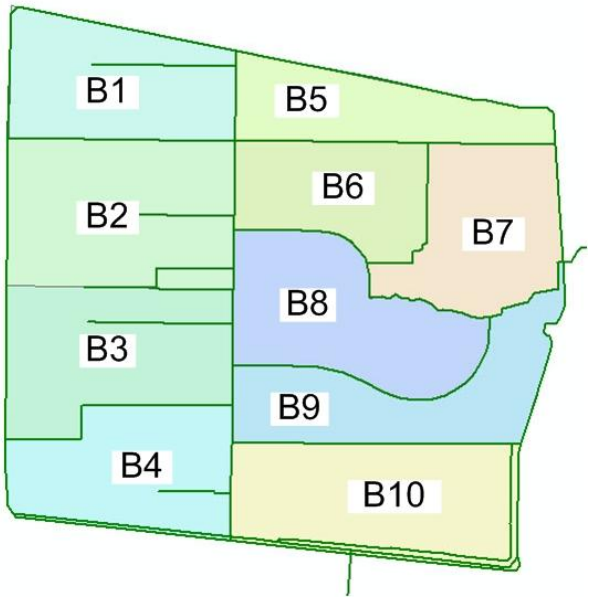

Figure 9 Block name diagram

ผลการวิเคราะห์ Basin และ Stream ที่แสดงเส้นชั้นลำน้ำลำดับที่ 4 เป็นต้นไป ทั้ง 10 บล็อก ได้ทั้งหมด 63 หน่วยพร้อมทั้งแสดงชื่อ ดังแสดงใน Figure 10

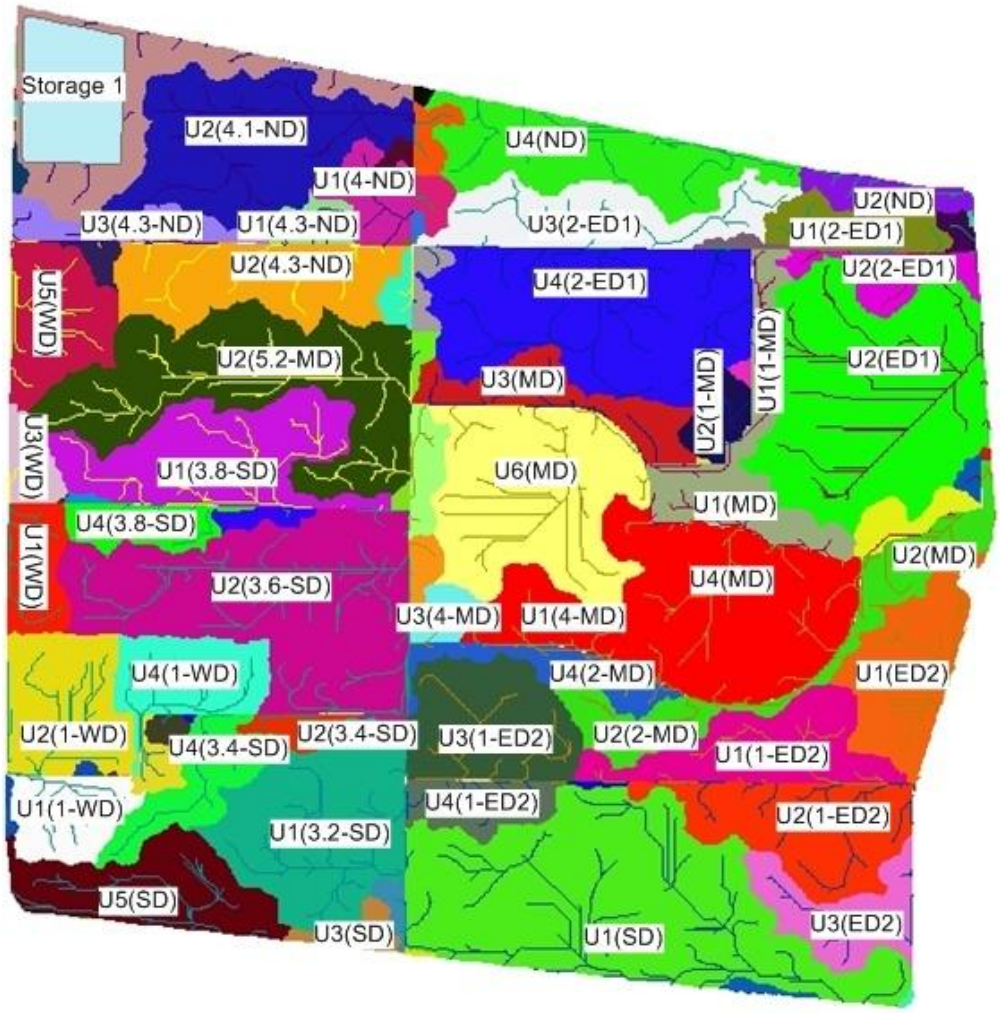

Figure 10 Basin and Stream networks of 10 blocks and drainage unit name

การตั้งชื่อหน่วยระบายน้ำ

เลขคู่ หลังอักษร U ในชื่อหน่วยระบายน้ำ หมายถึง หน่วยระบายน้ำอยู่ด้านขวาของคูระบายน้ำ

เลขคี่ หลังอักษร U ในชื่อหน่วยระบายน้ำ หมายถึง หน่วยระบายน้ำอยู่ด้านซ้ายของคูระบายน้ำ

ในบางหน่วยระบายน้ำมีพื้นที่ครอบคลุมทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของคูระบายน้ำ การตั้งชื่อให้ดูที่แนวโน้มว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของหน่วยระบายน้ำอยู่ทางด้านใดของคูระบายน้ำ แล้วจึงเลือกใช้เลขคู่-เลขคี่

ในเครื่องหมายวงเล็บ (xx-xx) หมายถึง ชื่อคูระบายน้ำที่รับน้ำท่าจากหน่วยระบายน้ำนั้นๆ

ตัวอย่างการตั้งชื่อคูระบายน้ำ

U4(3.4-SD) หมายถึง หน่วยระบายน้ำย่อยที่ 4 ซึ่งน้ำท่าไหลลงสู่คูระบายน้ำ 3.4-SD

ผลการวิเคราะห์ Basin และ Stream ของบล็อกที่ 8 ซึ่งเป็นตัวอย่างบล็อกที่มีปัญหาหน่วยระบายน้ำมีจุดออกสองจุด (ไหลลงสองคูระบายน้ำ) ต้องทำการแบ่งพื้นที่หน่วยระบายน้ำด้วยมือโดยใช้แนวช่วงว่างของ Stream ก็คือสันปันน้ำในการช่วยแบ่งหน่วยระบายน้ำ และหาพื้นที่ของส่วนที่แบ่งขึ้นเองด้วยเครื่องมือ Calculate Geomatry

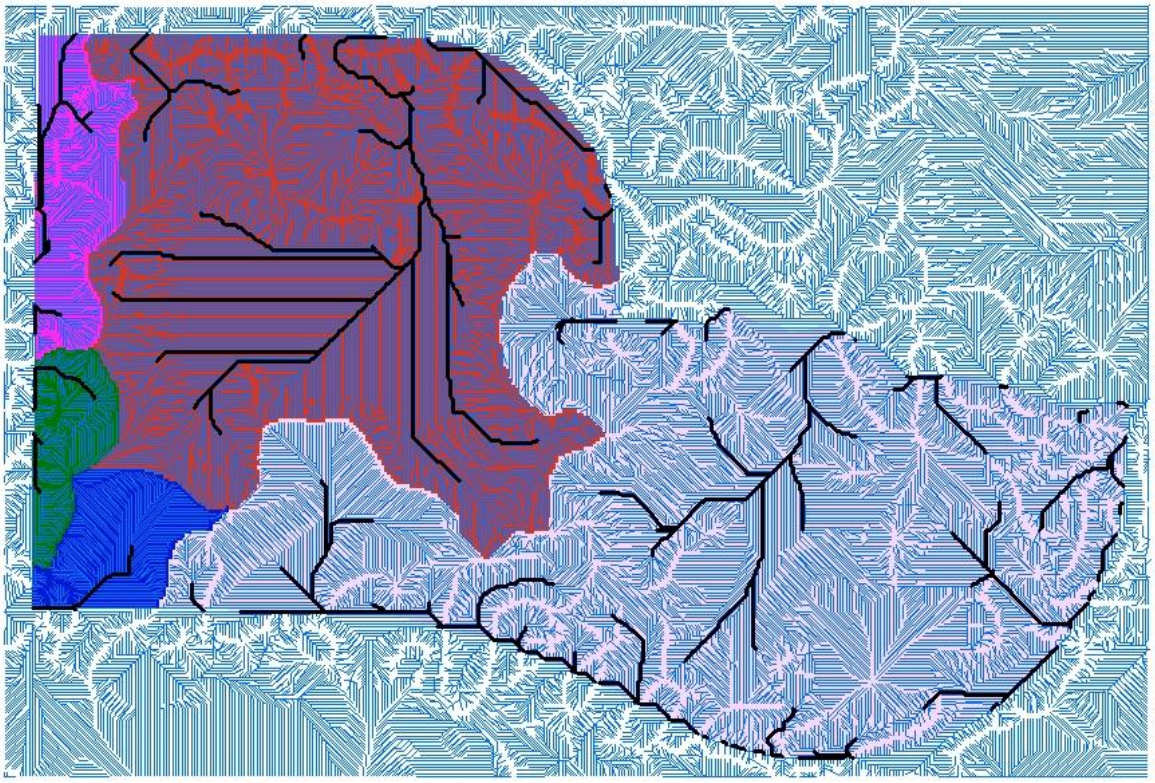

Figure 11 Block B8 Basin and Stream networks

Basin เป็นข้อมูลประเภท Raster มีลักษณะเป็น Grids โดยการวิเคราะห์ Basin จะมีการนับจำนวน Grid (Count) และในขั้นตอนการสร้าง DEM จะสามารถกำหนดขนาด Gird ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดขนาด Grid อยู่ที่ 5x5 m^2 สามารถหาพื้นที่ได้จาก จำนวน Grid x ขนาด Grid ส่วนพื้นที่ของหน่วยระบายน้ำที่แบ่งขึ้นเองใช้เครื่องมือ Calculate Geomatry ในการคำนวณและประเมินค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของแต่ละหน่วยระบายน้ำ ทั้งหมดแสดงอยู่ใน Table 2

Table 2 Drainage unit area and the result of estimated runoff coefficient

Drainage Unit	Blog name/ Ditch name	Grid count	Area (km^2)	C
U2(ND)	B5	2823	0.0706	0.500
U4(ND)	B5	13337	0.3334	0.500
U2(2-ND)	B5	1547	0.0387	0.500
U4(2-ND)	B5	1342	0.0336	0.500
U1(4-ND)	B1	534	0.0134	0.500
U3(4-ND)	B1	3705	0.0926	0.500
U2(4.1-ND)	B1	18548	0.4637	0.500
U1(4.3-ND)	B1	1967	0.0492	0.500
U3(4.3-ND)	B1	4087	0.1022	0.500
U2(4.3-ND)	B2	13005	0.3251	0.300
U1(WD)	B3	5330	0.1333	0.500
U3(WD)	B2	2194	0.0549	0.500
U5(WD)	B2	8140	0.2035	0.500
U1(1-WD)	B4	5643	0.1411	0.510
U2(1-WD)	B3	9692	0.2423	0.500
U4(1-WD)	B3	7105	0.1776	0.500
U1(SD)	B10	36847	0.8616	0.500
U3(SD)	B4	1560	0.0390	0.500
U5(SD)	B4	10668	0.2667	0.500
U1(1-SD)	B10	-	0.0596	0.875
U3(1-SD)	B10	-	0.0246	0.400
U2(3-SD)	B4	763	0.0191	0.325
U4(3-SD)	B2	-	0.0881	0.600
U1(3.2-SD)	B4	17690	0.4423	0.810
U1(3.4-SD)	B3	-	0.1472	0.500
U2(3.4-SD)	B4	1896	0.0474	0.500
U4(3.4-SD)	B4	6305	0.1576	0.500
U6(3.4-SD)	B4	2104	0.0526	0.500
U2(3.6-SD)	B3	28471	0.5646	0.600
U1(3.8-SD)	B2	15204	0.3801	0.825
U2(3.8-SD)	B3	1036	0.0259	0.825
U4(3.8-SD)	B3	3909	0.0977	0.825

Drainage Unit	Blog name/ Ditch name	Grid count	Area (km^2)	C
U1(MD)	B7	9073	0.2268	0.218
U3(MD)	B7	2840	0.0710	0.300
U5(MD)	B6	4536.5	0.1330	0.598
U2(MD)	B9	10512	0.2628	0.440
U4(MD)	B8	27029	0.3009	0.431
U6(MD)	B8	20351	0.5088	0.801
U1(1-MD)	B7	9073	0.0938	0.801
U2(1-MD)	B6	2774	0.0694	0.500
U4(1-MD)	B6	-	0.1449	0.500
U2(3-MD)	B6	623	0.0156	0.325
U4(3-MD)	B6	1250	0.0313	0.325
U2(5-MD)	B2	1069	0.0267	0.325
U2(5.2-MD)	B2	23404	0.5851	0.810
U2(2-MD)	B9	10512	0.2628	0.440
U4(2-MD)	B9	4349	0.1087	0.360
U2(4-MD)	B8	27029	0.3748	0.431
U4(4-MD)	B8	1791	0.0448	0.825
U2(6-MD)	B8	2366	0.0592	0.500
U4(6-MD)	B8	1310	0.0328	0.815
U1(ED)	B9	9756	0.2439	0.500
U3(ED)	B10	6630	0.1658	0.500
U2(ED)	B7	28331	0.7083	0.500
U4(ED)	B5	757	0.0189	0.500
U3(1-ED)	B9	11250	0.2567	0.360
U1(1-ED)	B9	10044	0.2511	0.563
U4(1-ED)	B10	4524	0.1131	0.728
U2(1-ED)	B10	12037	0.3009	0.550
U1(2-ED)	B5	4774	0.1194	0.500
U3(2-ED)	B5	11311	0.2828	0.500
U2(2-ED)	B7	3885	0.0971	0.500
U4(2-ED)	B6	25038	0.4811	0.500

Note : C = coefficient runoff

วิเคราะห์ความถี่ฝนสูงสุดราย 1, 2 และ 3 วัน จากข้อมูลสถิติฝนรายวันย้อนหลัง 17 ปี (2539 -2555) เพื่อสร้างกราฟความลึกฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ เลือกกระดาษแบบ Log normal กราฟที่ได้ไม่เรียงกันเป็นเส้นตรงแสดงว่ากระดาษกราฟไม่เหมาะสม ดังแสดงใน Figure 1

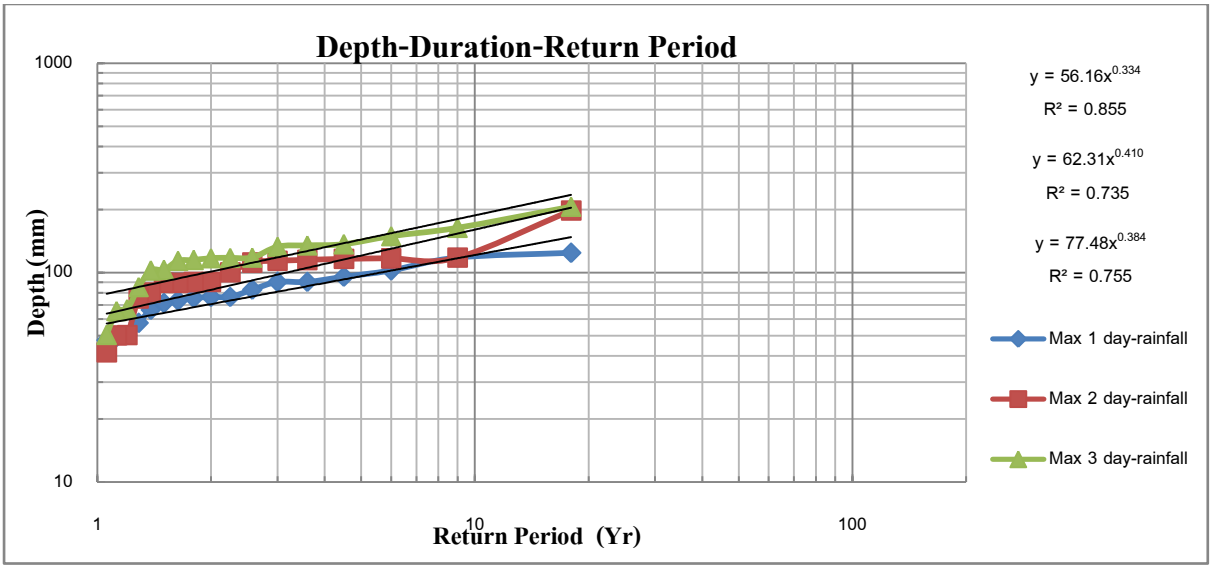

Figure 12 Depth-Duration-Frequency by log normal paper

สร้างกราฟความลึกฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ ด้วยวิธี Plotting Position ด้วยกระดาษแบบ Gumbel กราฟที่ได้มีแนวโน้มการเรียงตัวที่ดีขึ้นสามารถยอมรับได้ดังแสดงใน Figure 13

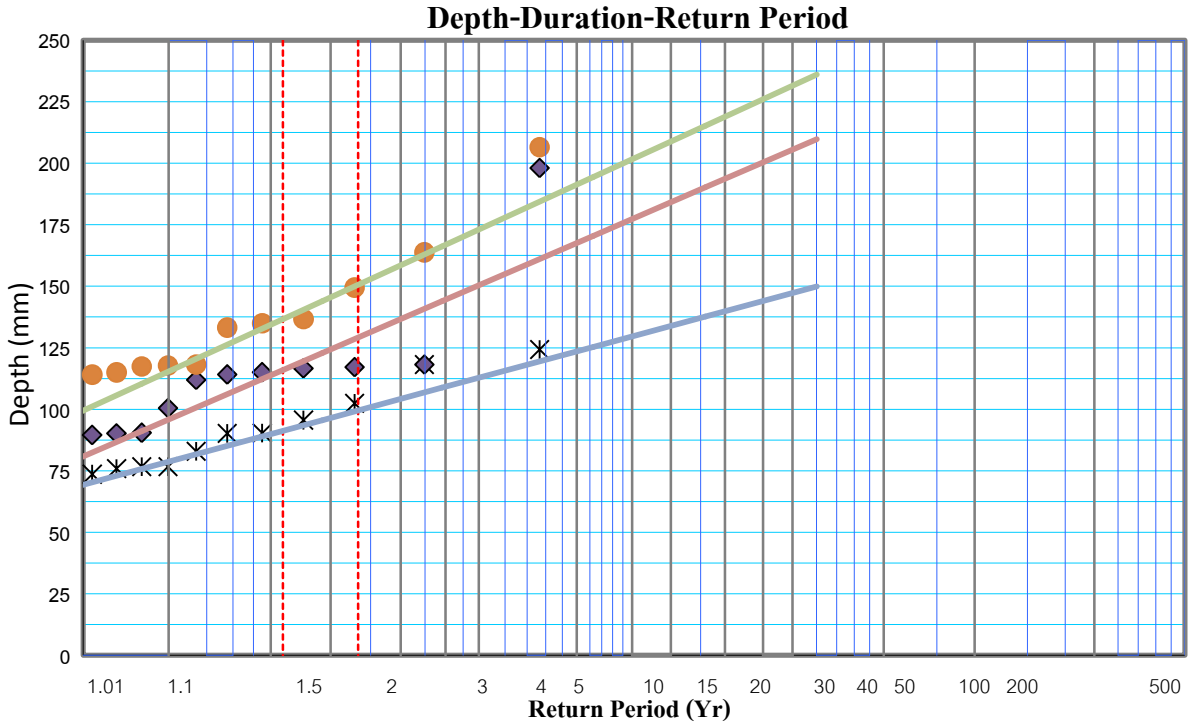

Figure 13 Depth-Duration-Return Period by Gumbel paper

ผลวิเคราะห์ความถี่ฝนสูงสุดราย 1, 2 และ 3 วัน จากข้อมูลสถิติฝนรายวันย้อนหลัง 17 ปี สร้างกราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของฝน ด้วยฟังค์ชั่น Gumbel ที่รอบปีการเกิด 2, 5, 10, 25, 50 และ 100 ปี ที่ช่วงเวลา 1, 2 และ 3 วัน ที่ความเข้มฝนในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมงดังแสดงใน Figure 14

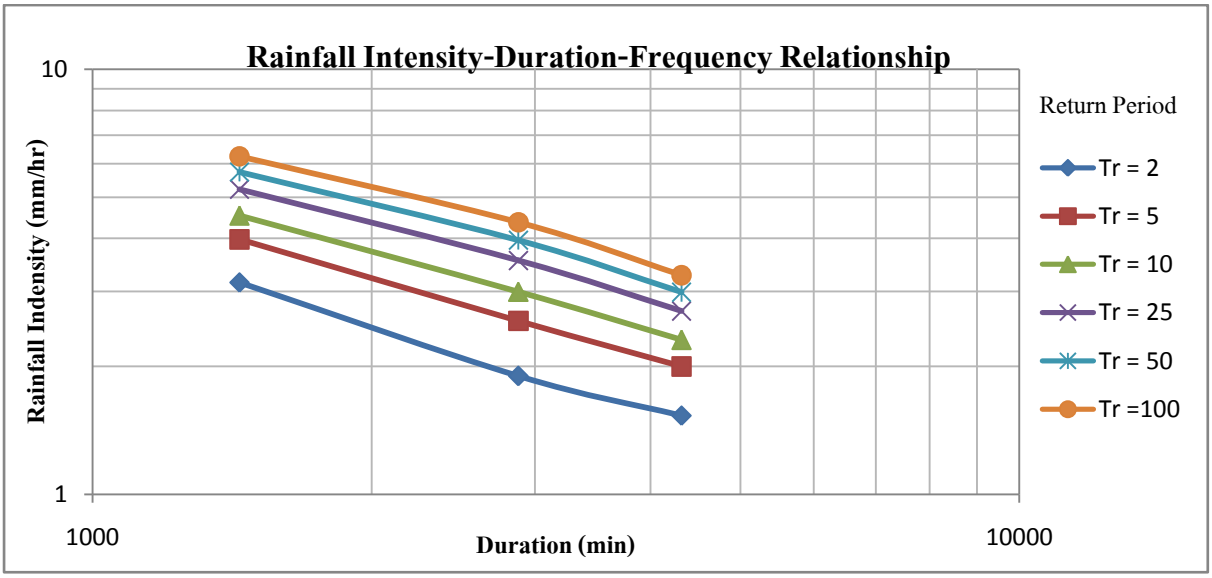

Figure 14 Rainfall Intensity-Duration-Frequency by Gumbel function

ผลวิเคราะห์ข้อมูลฝนราย 15 , 30, 45, 60, 120, 180, 360, 720 และ 1440 นาที ของวันที่มีฝนตกปริมาณต่างๆกัน จำนวน 35 วัน สร้างกราฟ Time distribution of rainfall โดยแปลงข้อมูลเป็นร้อยละ เวลา 720 นาที คิดเป็นร้อยละ 100 และปริมาณฝนที่ตกใน 1440 นาทีของวันนั้น คิดเป็นร้อยละ 100 นำข้อมูลมาหาค่า Minimum, Maximum, และ Mean แล้วพล็อตเป็นกราฟดังแสดงใน Figure 15

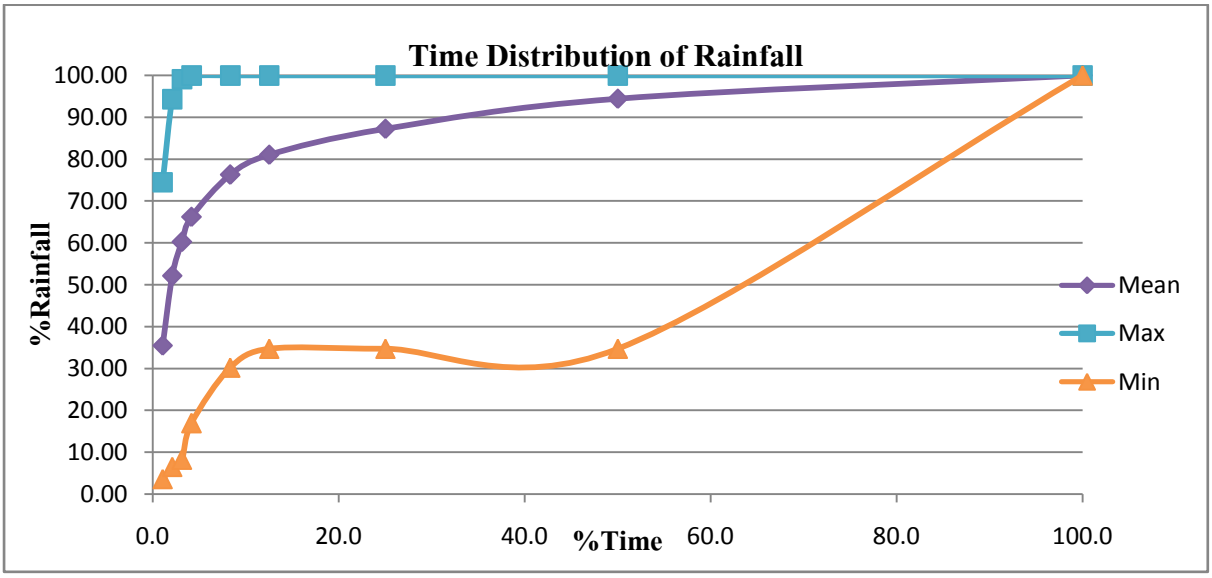

Figure 15 Time distribution of rainfall

ผลคำนวณเวลาเกิดน้ำท่าสูงสุดจากสมการของ Kirpich (1940) ของ แต่ละหน่วยระบายน้ำ และ จากหน่วยระบายน้ำไปถึงจุดออก โดยใช้ค่าระดับจาก DEM1 ที่จุดต่างๆ และใช้ค่าระยะทางจากเครื่องมือ Measure

Table 3 Calculation of time of concentration

Ditch	Drainage Unit	H_1	H_2	ΔH	L	Tc (Dicth)	H_1	H_2	ΔH	L (m)	Tc (Outlet)
ND											
	U2(ND)	6.79	5.22	1.57	642.17	0.48	6.79	4.05	2.74	1,722.83	1.20
	U4(ND)	6.19	5.22	0.97	2,503.56	2.77	6.19	4.05	2.14	3,821.68	3.32
D2-ND											
	U2(2-ND)	6.15	5.6	0.55	381.44	0.39	6.15	4.05	2.10	3,598.49	3.12
	U4(2-ND)	6.55	5.6	0.95	614.10	0.55	6.55	4.05	2.50	3,876.13	3.18
D4-ND											
	U1(4-ND)	7.63	5.71	1.92	435.53	0.28	7.63	4.05	3.58	4,260.07	3.09
	U3(4-ND)	7.61	5.71	1.90	958.74	0.70	7.61	4.05	3.56	3,696.26	2.63
D4.1-ND											
	U2(4.1-ND)	8.42	6	2.42	1,670.37	1.22	8.42	4.05	4.37	5,060.93	3.49
D4.3-ND											
	U1(4.3-ND)	7.63	6.68	0.95	640.11	0.58	7.63	4.05	3.58	4,434.66	3.24
	U3(4.3-ND)	9.23	6.68	2.55	1,613.65	1.15	9.23	4.05	5.18	5,489.94	3.59
	U2(4.3-ND)	8.98	6.68	2.30	1,268.65	0.90	8.98	4.05	4.93	4,466.21	2.89
WD											
	U1(WD)	8.55	8.1	0.45	1,821.49	2.57	8.55	4.05	4.50	7,822.43	5.71
	U3(WD)	8.55	8.1	0.45	1,934.75	2.76	8.55	4.05	4.50	7,517.19	5.45
	U5(WD)	8.91	8.1	0.81	3,055.79	3.73	8.91	4.05	4.86	8,710.24	6.28
D1-WD											
	U1(1-WD)	7.36	7.23	0.13	692.73	1.36	7.36	4.05	3.31	6,801.99	5.47
	U2(1-WD)	8.76	7.23	1.53	783.91	0.61	8.76	4.05	4.71	7,086.93	5.01
	U4(1-WD)	7.52	7.23	0.29	1,428.21	2.30	7.52	4.05	3.47	6,945.37	5.50
SD											
	U1(SD)	6.64	4.38	2.26	2,196.64	1.72	6.64	4.05	2.59	4,511.07	3.74
	U3(SD)	6.52	4.38	5.54	2,441.45	1.37	6.52	4.05	5.54	4,603.15	2.86
	U5(SD)	8.19	4.38	3.81	3,754.38	2.61	8.19	4.05	4.14	5,893.45	4.25
D1-SD											
	U1(1-SD)	6.08	5.79	0.29	517.75	0.71	6.08	4.05	2.03	4,681.71	4.29
	U3(1-SD)	6.39	5.79	0.60	882.79	1.00	6.39	4.05	2.34	4,904.38	4.28
D3-SD											
	U2(3-SD)	6.47	5.56	0.91	312.84	0.26	6.47	4.05	2.42	4,446.32	3.78
	U4(3-SD)	7.23	5.56	1.67	2,278.31	2.01	7.23	4.05	3.18	5,764.45	4.59
D3.2-SD											
	U1(3.2-SD)	8.13	6.35	1.78	1,081.42	0.83	8.13	4.05	4.08	5,359.32	3.83
D3.4-SD											
	U1(3.4-SD)	7.34	6.97	0.37	696.11	0.91	7.34	4.05	3.29	5,759.25	4.52
	U2(3.4-SD)	7.48	6.97	0.51	634.33	0.73	7.48	4.05	3.43	5,743.75	4.44
	U4(3.4-SD)	8.37	6.97	1.40	1,605.57	1.44	8.37	4.05	4.32	6,646.99	4.81
	U6(3.4-SD)	8.17	6.97	1.20	1,251.71	1.14	8.17	4.05	4.12	6,414.10	4.70
D3.6-SD											
	U2(3.6-SD)	8.1	6.19	1.91	1,606.13	1.28	8.1	4.05	4.05	7,262.40	5.46

Ditch	Drainage Unit	H_1	H_2	ΔH	L	Tc (Dicth)	H_1	H_2	ΔH	L	Tc (Outlet)
D3.8-SD											
	U1(3.8-SD)	9.11	6.33	2.78	1,511.62	1.03	9.11	4.05	5.06	7,401.24	5.12
	U2(3.8-SD)	6.60	6.33	0.27	760.80	1.14	5.8	4.05	1.75	6,643.11	6.80
	U4(3.8-SD)	8.00	6.33	1.67	1,330.27	1.08	8	4.05	3.95	7,393.28	5.63
MD											
	U1(MD)	6.12	4.05	2.07	673.74	0.45	6.12	4.05	2.07	673.74	0.45
	U3(MD)	4.29	4.05	0.24	1,555.80	2.73	4.29	4.05	0.24	1,555.80	2.73
	U5(MD)	5.75	4.05	1.70	2,726.05	2.46	5.75	4.05	1.70	2,726.05	2.46
	U2(MD)	7.3	4.05	3.25	2,371.31	1.63	7.3	4.05	3.25	2,371.31	1.63
	U4(MD)	6.24	4.05	2.19	1,902.30	1.47	6.24	4.05	2.19	1,902.30	1.47
	U6(MD)	6.66	4.05	2.61	3,391.96	2.68	6.66	4.05	2.61	3,391.96	2.68
D1-MD											
	U1(1-MD)	6.66	4.05	2.61	2,980.30	2.31	6.66	4.05	2.61	2,980.30	2.31
	U2(1-MD)	6.50	4.05	2.45	2,645.07	2.06	6.5	4.05	2.45	2,645.07	2.06
	U4(1-MD)	6.55	4.05	2.50	1,814.06	1.32	6.55	4.05	2.50	3,627.61	2.95
D3-MD											
	U2(3-MD)	6.62	4.05	2.57	3,120.37	2.45	6.62	4.05	2.57	3,120.37	2.45
	U4(3-MD)	6.80	4.05	2.75	3,455.69	2.69	6.8	4.05	2.75	3,455.69	2.69
D5-MD											
	U2(5-MD)	6.79	4.05	2.74	3,428.31	2.67	6.79	4.05	2.74	3,428.31	2.67
D5.2-MD											
	U2(5.2-MD)	8.90	4.05	4.85	4,570.62	2.98	8.9	4.05	4.85	4,570.62	2.98
D2-MD											
	U2(2-MD)	7.30	4.05	3.25	2,371.31	1.63	7.3	4.05	3.25	2,371.31	1.63
	U4(2-MD)	7.36	4.05	3.31	2,754.56	1.93	7.36	4.05	3.31	2,754.56	1.93
D4-MD											
	U2(4-MD)	6.24	4.05	2.19	2,707.82	2.21	6.24	4.05	2.19	2,707.82	2.21
	U4(4-MD)	6.67	4.05	2.62	2,865.93	2.21	6.67	4.05	2.62	2,865.93	2.21
D6-MD											
	U2(6-MD)	6.50	4.05	2.45	3,195.17	2.57	6.5	4.05	2.45	3,195.17	2.57
	U4(6-MD)	6.64	4.05	2.59	3,603.17	2.89	6.64	4.05	2.59	3,603.17	2.89
ED1											
	U2(ED)	6.34	4.05	2.29	1,661.59	1.24	6.34	4.05	2.29	1,661.59	1.24
	U4(ED)	6.39	4.05	2.34	1,038.33	0.71	6.39	4.05	2.34	1,038.33	0.71
D2-ED1											
	U1(2-ED)	6.64	4.05	2.59	2,023.01	1.48	6.64	4.05	2.59	2,023.01	1.48
	U3(2-ED)	6.79	4.05	2.74	3,182.02	2.45	6.79	4.05	2.74	3,182.02	2.45
	U2(2-ED)	4.75	4.05	0.70	1,699.38	2.00	4.75	4.05	0.70	1,699.38	2.00
	U4(2-ED)	6.1	4.05	2.05	3,411.08	2.96	6.1	4.05	2.05	3,411.08	2.96
ED2											
	U1(ED)	4.79	4.05	0.74	1,598.52	1.83	4.79	4.05	0.74	1,598.52	1.83
	U3(ED)	5.89	4.05	1.84	2,873.01	2.53	5.89	4.05	1.84	2,873.01	2.53
D1-ED2											
	U3(1-ED)	7.12	4.05	3.07	3,686.11	2.77	7.12	4.05	3.07	3,686.11	2.77
	U1(1-ED)	5.02	4.05	0.97	2,879.26	3.25	5.02	4.05	0.97	2,879.26	3.25
	U4(1-ED)	5.56	4.05	1.51	3,562.87	3.51	5.56	4.05	1.51	3,562.87	3.51
	U2(1-ED)	5.00	4.05	0.95	2,540.54	2.84	5	4.05	0.95	2,540.54	2.84

Note : ΔH = elevation deference between divide and outlet (H_1-H_2) (m),

L = travel length (m), t_c = time of concentration (hr)

ผลการคำนวณค่าความเข้มฝนที่หน่วยระบายน้ำจะสามารถรับได้(i_{max})จากสมการ Rational ค่าความเข้มฝนที่มีรอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี(i_i) จากกราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ ที่เวลา t_c และสรุปหา t_c ที่มากที่สุดจากแต่ละหน่วยระบายน้ำไปยังจุดออก

Table 4 Calculation of maximum rainfall intensity that each drainage unit can be tolerated without flooding and the estimated rainfall intensity that is probably occurred

Ditch name	Q (cms)	Drainage Unit	Area (km^2)	C	i_{max} (mm/hr)	Tc Dicth (hr)	i_i (mm/hr)	Tc Outlet (hr)
ND	35.484							
		U2(ND)	0.0706	0.500		0.48		1.20
		U4(ND)	0.3334	0.500		2.77		3.32
		D2-ND	0.0722	0.500		0.55		3.18
		D4-ND	1.0462	0.438		1.22		3.59
		SUM A	1.5224	0.457	183.5	2.77	4.998	3.59
D2-ND	4.738							
		U2(2-ND)	0.0387	0.500		0.39		3.12
		U4(2-ND)	0.0336	0.500		0.55		3.18
		SUM A	0.0722	0.500	472.3	0.55	3.359	3.18
D4-ND	1.373							
		U1(4-ND)	0.0134	0.500		0.28		3.09
		U3(4-ND)	0.0926	0.500		0.70		2.63
		D4.1-ND	0.4637	0.500		1.22		3.49
		D4.3-ND	0.4765	0.364		1.15		3.59
		SUM A	1.0462	0.438	10.8	1.22	4.278	3.59
D4.1-ND	3.685							
		U2(4.1-ND)	0.4637	0.500	57.2	1.22	4.278	3.49
D4.3-ND	0.880							
		U1(4.3-ND)	0.0492	0.500		0.58		3.24
		U3(4.3-ND)	0.1022	0.500		1.15		3.59
		U2(4.3-ND)	0.3251	0.300		0.90		2.89
		SUM A	0.4765	0.364	18.3	1.15	4.234	3.59
WD	25.618							
		U1(WD)	0.1333	0.500		2.57		5.71
		U3(WD)	0.0549	0.500		2.76		5.45
		U5(WD)	0.2035	0.500		3.73		6.28
		D1-WD	0.5610	0.503		2.30		5.50
		SUM A	0.9526	0.501	193.1	3.73	5.161	6.28
D1-WD	11.281							
		U1(1-WD)	0.1411	0.510		1.36		5.47
		U2(1-WD)	0.2423	0.500		0.61		5.01
		U4(1-WD)	0.1776	0.500		2.30		5.50
		SUM A	0.5610	0.503	144.1	2.30	4.858	5.50

Ditch name	Q (cms)	Drainage Unit	Area (km^2)	C	i_{max} (mm/hr)	Tc Dicth (hr)	i_i (mm/hr)	Tc Outlet (hr)
SD	25.618							
		U1(SD)	0.8616	0.500		1.72		3.74
		U3(SD)	0.0390	0.500		1.37		2.86
		U5(SD)	0.2667	0.500		2.61		4.25
		D1-SD	0.0841	0.736		1.00		4.29
		D3-SD	2.0225	0.653		2.01		6.80
		WD	0.9526	0.501		4.65		6.28
		SUM A	4.2265	0.465	46.9	4.65	5.279	6.80
D1-SD	5.446							
		U1(1-SD)	0.0596	0.875		0.71		4.29
		U3(1-SD)	0.0246	0.400		1.00		4.28
		SUM A	0.0841	0.736	316.6	1.00	4.140	4.29
D3-SD	6.802							
		U2(3-SD)	0.0191	0.325		0.26		3.78
		U4(3-SD)	0.0881	0.600		2.01		4.59
		D3.2-SD	0.4423	0.810		0.83		3.83
		D3.4-SD	0.4048	0.500		1.44		4.81
		D3.6-SD	0.5646	0.600		1.28		5.46
		D3.8-SD	0.5037	0.825		1.14		6.80
		SUM A	2.0225	0.653	18.5	2.01	4.771	6.80
D3.2-SD	13.038							
		U1(3.2-SD)	0.4423	0.810	131.0	0.83	3.884	3.83
D3.4-SD	11.281							
		U1(3.4-SD)	0.1472	0.500		0.91		4.52
		U2(3.4-SD)	0.0474	0.500		0.73		4.44
		U4(3.4-SD)	0.1576	0.500		1.44		4.81
		U6(3.4-SD)	0.0526	0.500		1.14		4.70
		SUM A	0.4048	0.500	200.6	1.44	4.416	4.81
D3.6-SD	13.081							
		U2(3.6-SD)	0.5646	0.600	139.0	1.28	4.316	5.46
D3.8-SD	4.815							
		U1(3.8-SD)	0.3801	0.825		1.03		5.12
		U2(3.8-SD)	0.0259	0.825		1.14		6.80
		U4(3.8-SD)	0.0977	0.825		1.08		5.63
		SUM A	0.5037	0.825	41.7	1.14	4.190	6.80
MD	25.629							
		U1(MD)	0.2268	0.218		0.45		0.45
		U3(MD)	0.0710	0.300		2.73		2.73
		U5(MD)	0.1330	0.598		2.46		2.46
		U2(MD)	0.2628	0.440		1.63		1.63
		U4(MD)	0.3009	0.431		1.47		1.47
		U6(MD)	0.5088	0.801		2.68		2.68
		D1-MD	0.3080	0.592		2.31		2.95
		D3-MD	0.0468	0.325		2.69		2.69
		D5-MD	0.6118	0.789		2.98		2.98
		D2-MD	0.3715	0.417		1.93		1.93
		D4-MD	0.4196	0.473		2.21		2.21
		D6-MD	0.0919	0.612		2.89		2.89
		SUM A	3.3530	0.565	48.7	2.98	5.061	2.98

Ditch name	Q (cms)	Drainage Unit	Area (km^2)	C	i_{max} (mm/hr)	Tc Dicth (hr)	i_i (mm/hr)	Tc Outlet (hr)
D1-MD	4.081							
		U1(1-MD)	0.0938	0.801		2.31		2.31
		U2(1-MD)	0.0694	0.500		2.06		2.06
		U4(1-MD)	0.1449	0.500		1.32		2.95
		SUM A	0.3080	0.592	80.6	2.31	4.861	2.95
D3-MD	6.734							
		U2(3-MD)	0.0156	0.325		2.45		2.45
		U4(3-MD)	0.0313	0.325		2.69		2.69
		SUM A	0.0468	0.325	1593.0	2.69	4.975	2.69
D5-MD	4.370							
		U2(5-MD)	0.0267	0.325		2.67		2.67
		D5.2-MD	0.5851	0.810		2.98		2.98
		SUM A	0.6118	0.789	32.6	2.98	5.061	2.98
D5.2-MD	3.311							
		U2(5.2-MD)	0.5851	0.810	25.1	2.98	5.061	2.98
D2-MD	9.643							
		U2(2-MD)	0.2628	0.440		1.63		1.63
		U4(2-MD)	0.1087	0.360		1.93		1.93
		SUM A	0.3715	0.417	224.3	1.93	4.724	1.93
D4-MD	6.554							
		U2(4-MD)	0.3748	0.431		2.21		2.21
		U4(4-MD)	0.0448	0.825		2.21		2.21
		SUM A	0.4196	0.473	118.8	2.21	4.831	2.21
D6-MD	3.959							
		U2(6-MD)	0.0592	0.500		2.57		2.57
		U4(6-MD)	0.0328	0.815		2.89		2.89
		SUM A	0.0919	0.612	253.3	2.89	5.034	2.89
ED1	35.484							
		U2(ED)	0.7083	0.500		1.24		1.24
		U4(ED)	0.0189	0.500		0.71		0.71
		D2-ED1	0.9804	0.500		2.96		2.96
		ND	1.5224	0.457		3.59		3.59
		SUM A	3.2299	0.480	82.4	3.59	5.143	3.59
D2-ED1	0.795							
		U1(2-ED)	0.1194	0.500		1.48		1.48
		U3(2-ED)	0.2828	0.500		2.45		2.45
		U2(2-ED)	0.0971	0.500		2.00		2.00
		U4(2-ED)	0.4811	0.500		2.96		2.96
		SUM A	0.9804	0.500	5.8	2.96	5.056	2.96
ED2	35.484							
		U1(ED)	0.2439	0.500		1.83		1.83
		U3(ED)	0.1658	0.500		2.53		2.53
		D1-ED2	0.9218	0.522		3.51		3.51
		SD	4.2265	0.465		6.80		6.80
		SUM A	5.5580	0.477	48.2	6.80	5.512	6.80

Ditch name	Q (cms)	Drainage Unit	Area (km^2)	C	i_{max} (mm/hr)	Tc Dicth (hr)	i_i (mm/hr)	Tc Outlet (hr)
D1-ED2	6.929							
		U3(1-ED)	0.2567	0.360		2.77		2.77
		U1(1-ED)	0.2511	0.563		3.25		3.25
		U4(1-ED)	0.1131	0.728		3.51		3.51
		U2(1-ED)	0.3009	0.550		2.84		2.84
		SUM A	0.9218	0.522	51.8	3.51	5.132	3.51
Outlet	35.480							
		ED1	3.2299	0.480				
		DE2	5.5580	0.477				
		MD	3.3530	0.565				
			12.1409	0.502	21.0	6.80	5.512	
Outlet(H=1.1)	8.553		12.1409	0.502	5.1	6.80	5.512	

Note : Q = Discharge (cms), C = coefficient runoff,

i_{max} = maximum rainfall intensity that each drainage unit can be tolerated without flooding,

i_i = rainfall intensity of Return Period 100 year

สรุป

ระบบระบายน้ำของหน่วยระบายน้ำย่อย สามารถรองรับปริมาณฝนที่มีรอบปีการเกิดซ้ำได้ถึง 100 ปี

จุดออกทุ่งขี้อ้าย จากการสังเกตพบว่าถ้าเฮดสูงเกินกว่า 1.1 เมตร จะเกิดน้ำท่วมตามแนวคูระบายน้ำหลักเหนือจุดทางออก ซึ่งพบว่าฝายน้ำล้นทุ่งขี้อ้ายสามารถระบายน้ำได้สูงสุดประมาณ 8.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยไม่เกิดน้ำท่วม จากผลการวิเคราะห์พบว่า พื้นที่ของวิทยาเขตสามารถรองรับความเข้มฝนได้ไม่เกิน 5.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ภายในเวลาการตกของฝน 6.8 ชั่วโมง หรือเทียบเท่ากับปริมาณฝน 34.4 มิลลิเมตร จากกราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ ค่าความเข้มฝน 5.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่ช่วงเวลา 6.8 ชั่วโมง ก็คือรอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี

เอกสารอ้างอิง

Chow, V.T. 1973. *OPEN-CHANNEL HYDRAULICS.* Singapore.

วราวุธ วุฒิวณิชย์, ทองเปลว กองจันทร์ และ วัชระ เสือดี 2550. *อุทกวิทยาทางวิศวกรรม ENGINEERING HYDROLOGY. สมาคมนิสิตเก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์*

กีรติ ลีวัจนกุล. 2543. *วิศวกรรมชลศาสตร์ HYDRAULIC ENGINEERING.* ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต.

สุเพชร จิรขจรกุล. 2552. *เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1.* นนทบุรี: บริษัท เอส.อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.